

ложения задвижек при расходе $7000 \text{ м}^3/\text{ч}$ аналогичны вышеприведенным с той лишь разницей, что минимум суммарной мощности составляет $1152,83 \text{ кВт}$ при сопротивлении задвижки нерегулируемого насоса $9,63 \cdot 10^{-7} \text{ ч/м}^2$, полностью открытой задвижке регулируемого насоса и относительном изменении скорости вращения рабочего колеса регулируемого насоса $0,89$.

Таким образом, при увеличении потребления воды на насосной станции для минимизации энергопотребления необходимо не только увеличивать скорость вращения приводного двигателя насосного агрегата, но и регулировать производительность нерегулируемого насоса путем уменьшения гидравлического сопротивления его задвижки. При этом задвижка регулируемого по скорости насоса должна быть полностью открытой.

Для реализации предложенного способа регулирования нужна система управления, включающая датчики давления, расхода и потребляемой активной мощности, а также экстремальный регулятор мощности.

1.Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

2.Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.

3.Дмитриенко Ю.А. Регулируемый электропривод насосных агрегатов. – Кишинев: Штиинца, 1985.

Получено 25.12.2002

УДК 628.35.15

О.М.НЕЧИПОР

Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРАХУНОК ВІДСТІЙНИКІВ БЕЗ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТРУБИ З НИЗХІДНО-ВИСХІДНИМ РУХОМ ВОДИ

Наведено метод розрахунку прямокутних вертикальних відстійників без центральної труби з низхідно-висхідним рухом води та його апробації.

Найбільш значні роботи, що поклали початок теоретичним основам седиментації, пов'язані з іменами таких видатних учених, як Ньютон, Стокс, Релей, Озеєн, Гольдштейн, Ріттингер, М.А.Веліканов, А.Н.Колмогоров, М.І.Седов. Великий внесок у розвиток теорії відстоювання внесли професори С.Х.Азер'єр, А.І.Жуков, П.І.Піскунов, В.Т.Турчинович, С.М.Шифорин, С.В.Яковлев.

А.В.Єршовим була створена нова модифікація вертикальних від-

стійників, яка має більш високу продуктивність та ефективність за-тримання завислих речовин, у порівнянні з існуючими. Був запропонований метод розрахунку вертикальних відстійників і розроблена їх вдосконалена конструкція [1]. Були також проведені дослідження вертикальних відстійників з низхідно-висхідним потоком рідини у промислових умовах [2]. Завданням досліджень цих відстійників було визначення ефективності роботи конструкції при різних гідравлічних навантаженнях з метою вибору оптимального режиму роботи і можливого збільшення продуктивності порівняно з відстійниками з центральним впуском рідини. Крім того, необхідними було отримання вихідних даних для розробки методу розрахунку вертикальних відстійників з низхідно-висхідним потоком рідини, а також перевірка теоретичних припущень, що полягали в особливостях конструкції відстійника і правильності теоретичного розрахунку його окремих елементів.

Аналіз результатів досліджень ефективності роботи відстійників показав, що при всіх режимах роботи відстійник нової конструкції значно ефективніший, ніж відстійники з центральним впуском рідини. При витраті 90 м³/добу і початковій концентрації завислих речовин на вході до відстійника 260 мг/л концентрація завислих речовин на виході з досліджуваного відстійника №2 становила 61 мг/л, а на виході з контрольного №1 – 88 мг/л [2]. Ефект відстоювання у відстійнику №2 склав 75,5%, а відстійника №1 – 64%.

У [3] була запропонована нова модифікація прямокутних вертикальних відстійників з низхідно-висхідним рухом води без центральної труби (патент України № 29814 А) [4]. Було також складено рівняння для визначення ефекту відстоювання стічної рідини в цьому відстійнику, яке має вигляд

$$E = (1 - C_t^H / C_o) + ((C_t^H - C_t) / C_o). \quad (1)$$

Щоб безпосередньо встановити зв'язок між величинами, що описують процес відстоювання стічної рідини у запропонованих прямокутних вертикальних відстійниках без центральної труби, з низхідно-висхідним рухом води та швидкостями їх зміни відносно інших незалежних змінних величин, було складено диференціальні рівняння матеріального балансу, що мають наступний вигляд:

$$W \partial C_t / \partial t = Q[(C_o - C_t) - K_n K_g C_t]; \quad (2)$$

$$W \partial C_t^H / \partial t = Q[(C_o - C_t^H) - K_n C_t^H]; \quad (3)$$

$$W \partial C_t / \partial t = Q[(C_t^H - C_t) - K_g C_t]. \quad (4)$$

Тут $k = Q/W$ (1/с); $K_n = V_n / U_{cm}^H$; $K_g = V_g / U_{cm}^g$, де U_{cm} – стисла

швидкість осідання частинки, мм/с; $U_{ct}^H = U_0^H [1 - 2,6(C/\rho)^{0,5}]$;
 $U_{ct}^6 = U_0^6 [1 - 2,6(C/\rho)^{0,5}]$ – рівняння Ейнштейна, де C/ρ – показник об'ємної концентрації, см³/л.

Викликає інтерес певна функціональна характеристика процесу – зміна концентрації завислих речовин з часом у кожній із зон потоку, низхідній і висхідній, і у всьому відстійнику в цілому. Важливим питанням є співвідношення об'ємів зон низхідного та висхідного потоків.

Щоб розв'язати диференціальні рівняння (2) - (4), проінтегруємо їх, розділивши змінні і припустивши, що в деякому певному випадку C_0 і C_t – відомі і сталі. Тоді інтегральне рівняння низхідної зони потоку матиме вигляд

$$k \int \partial t = \int \frac{\partial C_t^H}{-C_t^H (1 + K_H) + C_0}; \quad (5)$$

для висхідної зони потоку

$$k \int \partial t = \int \frac{\partial C_t}{-C_t (1 + K_6) + C_t^H}; \quad (6)$$

для всього відстійника в цілому

$$k \int \partial t = \int \frac{\partial C_t}{-C_t (1 + K_H K_6) + C_0}. \quad (7)$$

З (5) отримаємо рівняння

$$kt + C_H = \frac{1}{-(1 + K_H)} \ln [-C_t^H (1 + K_H) + C_0],$$

де C_H – довільна стала низхідної зони потоку.

З рівняння (6)

$$kt + C_6 = \frac{1}{-(1 + K_6)} \ln [-C_t (1 + K_6) + C_t^H],$$

де C_6 – довільна стала висхідної зони потоку.

З рівняння (7)

$$kt + C_3 = \frac{1}{-(1 + K_H K_6)} \ln [-C_t (1 + K_H K_6) + C_0],$$

де C_3 – загальна довільна стала для всього відстійника.

Це є загальні розв'язки диференціальних рівнянь, які описують перебіг процесу відстоювання стічної рідини у відстійнику з низхідно-висхідним рухом води. Щоб знайти залежності між характеризуючими цей процес величинами, визначимо початковий стан процесу осідання завислих речовин для кожної із зон.

У початковий момент часу (t_0), який, припустимо, дорівнює 0, концентрація завислих речовин у кінці зони низхідного потоку дорівнюватиме початковій концентрації завислих речовин у стічних водах, що надходять на відстійник, тобто $C_t^H(t_0) = C_0$, тоді

$$C_H = \frac{1}{-(1+K_H)} \ln \left[-C_0(1+K_H) + C_0 \right].$$

Для зони висхідного потоку рідини в момент часу (t_H) концентрація завислих речовин на виході із відстійника дорівнюватиме концентрації завислих речовин у кінці зони висхідного потоку, тобто $C_t(t_H) = C_t^H$, тоді

$$C_\theta = \frac{1}{-(1+K_\theta)} \ln \left[-C_t^H(1+K_\theta) + C_t^H \right].$$

Для всього відстійника в цілому у початковий момент часу (t_0) концентрація завислих речовин на виході з відстійника, тобто в освітлених стічних водах дорівнюватиме початковій концентрації завислих речовин у стічних водах, що надходять у відстійник $C_t(t_0) = C_0$, тоді

$$C_z = \frac{1}{-(1+K_H K_\theta)} \ln \left[-C_0(1+K_H K_\theta) + C_0 \right].$$

Підставимо значення C_H , C_θ , C_z у загальні розв'язки рівнянь, прологарифмуємо їх і після деяких перетворень остаточно отримаємо:

для низхідної зони потоку

$$C_t^H = C_0 \cdot e^{-(1+K_H)kt}; \quad (8)$$

для висхідної зони потоку

$$C_t = C_t^H \cdot e^{-(1+K_\theta)kt}; \quad (9)$$

для всього відстійника в цілому

$$C_t = C_0 \cdot e^{-(1+K_H \cdot K_\theta)kt}. \quad (10)$$

Це і є розв'язки заданих диференціальних рівнянь, що показують

залежності зміни концентрації завислих речовин у прямокутному вертикальному відстійнику без центральної труби. Вони подані в інженерному вигляді і можуть бути використані для подальших розрахунків і досліджень цих відстійників.

Підставимо розв'язки рівнянь у рівняння для визначення ефекту відстоювання стічної рідини (1) і отримаємо залежності для ефектів осідання завислих речовин відповідно у низхідній та висхідній частинах потоку і у всьому відстійнику в цілому:

$$E = (1 - e^{-(1+K_n)kt}) + (e^{-(1+K_n)kt} - e^{-(1+K_nK_e)kt}). \quad (11)$$

Щоб переконатися у правильності та достовірності отриманих розв'язків рівнянь, проведемо їх апробацію і побудуємо графіки. Для цього візьмемо випадок, коли початкова концентрація завислих речовин на вході у відстійник дорівнює 300 мг/л, у кінці зони низхідного потоку $C_t^H = 210$ мг/л, а на виході з відстійника (в освітленій воді) $C_t = 150$ мг/л (рис.1). Тоді ефекти осідання завислих речовин з рівняння (1) будуть такі: у низхідній зоні потоку $E_H = 30\%$; у висхідній зоні потоку $E_e = 20\%$; у всьому відстійнику в цілому – 50%. Відповідно згідно з [5, 6]: $U_0^H = 1,9$ мм/с, $U_0^e = 2$ мм/с, звідки $U_{cm}^H = 1,88$ мм/с, $U_{cm}^e = 1,98$ мм/с; $V_H = 0,48$ мм/с, $V_e = 0,5$ мм/с; $K_H = 0,255$, $K_e = 0,253$.

Визначимо час перебування стічної рідини в кожній із зон відстійника: $t = l / V$, де $l = 1000$ мм – довжина проточної частини відстійника.

У низхідній частині потоку $t_H = 2083$ с, у висхідній частині потоку $t_e = 2000$ с. Загальний час перебування стічної рідини у відстійнику $t_3 = 4083$ с.

Визначимо об'єми зон низхідного та висхідного потоків для витрати 50 м³/добу: $W_H = Q \cdot t_H = 1,21$ м³; $W_e = Q \cdot t_e = 1,56$ м³. Отже, бачимо, що об'єм низхідної зони потоку менший від об'єму зони висхідного потоку. Необхідно зазначити, як потрібно встановити перегородку у відстійнику, щоб витримати встановлені об'єми. Для цього підрахуємо конструктивні розміри x_1 ; x_2 відстійника, якщо його глибина $h = 1$ м, а сторона $a = 2$ м (рис.2).

Загальний об'єм відстійника: $W = 2,77$ м³. Тоді визначимо сторону b : $b = W / h \cdot a = 2,77 / 1 \cdot 2 = 1,385$ м. Отже, $x_1 = W_H / h \cdot b = 0,874$ м.

$$x_2 = W_{\epsilon} / h \cdot \epsilon = 1,126 \text{ м. } k = Q/W = 0,00021 \text{ (1/с).}$$

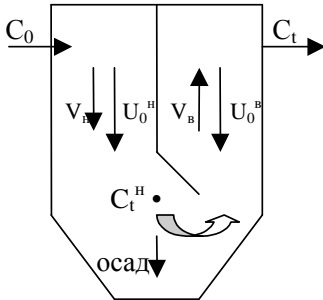


Рис.1 – Концентрація завислих речовин у відстійнику

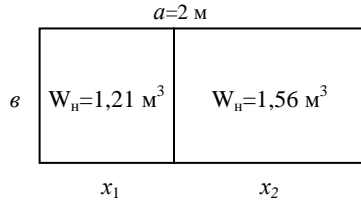


Рис.2 – Розрахункова схема відстійника

Тепер побудуємо залежності зміни концентрації завислих речовин та ефекту відстоювання стічної рідини з часом у відстійнику в цілому і у кожній із зон потоку (рис. 3, 4).

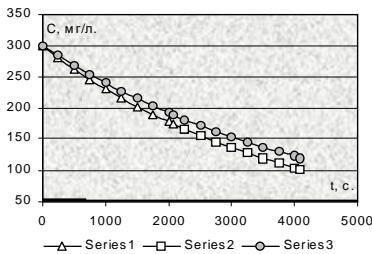


Рис.3 – Зміна концентрації завислих речовин з часом:

ряд 1 – $C_t^H = C_o \cdot e^{-(1+K_n)kt}$;

ряд 2 – $C_t = C_t^H \cdot e^{-(1+K_a)kt}$;

ряд 3 – $C_t = C_o \cdot e^{-(1+K_n \cdot K_a)kt}$

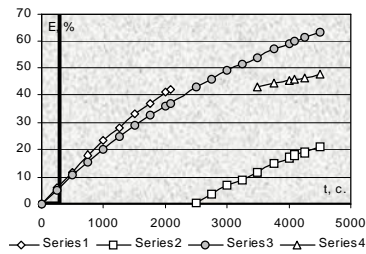


Рис.4 – Зміна ефекту відстоювання з часом:

ряд 1 – $E = 1 - e^{-(1+K_n)kt}$;

ряд 2 – $E = (e^{-(1+K_n)kt} - e^{-(1+K_n \cdot K_a)kt})$;

ряд 3 – $E = (1 - e^{-(1+K_n)kt}) + (e^{-(1+K_n)kt} - e^{-(1+K_n \cdot K_a)kt})$;

ряд 4 – $E = f(t)$

Як видно з рис.4, вигляд кривої ефекту відстоювання стічної рідини у відстійнику, розрахованої за знайденою залежністю, має подібний характер до кривої ефекту відстоювання стічної рідини, побудованої експериментально (рис. 4.26,а [7]) для тієї ж початкової концентрації завислих речовин.

Ці розрахунки виконані у першому наближенні і потребують експериментального уточнення та більш досконалого дослідження.

Для більш точного підтвердження отриманих формул і розрахунків використаємо результати натурних досліджень ефективності роботи відстійників попередньої конструкції, які були проведені А.В.Єршовим, підставивши їх у розроблену формулу розрахунку, і побудуємо графіки концентрації завислих речовин $C_0=100$ мг/л (рис.5).

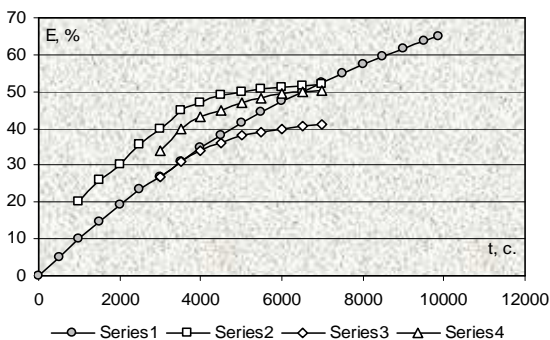


Рис.5. Зміна ефекту відстоювання з часом:

ряд 1 – ефективність відстоювання стічної рідини у відстійнику з низхідно-висхідним рухом води нової конструкції; ряд 2 – ефективність відстоювання стічної рідини у спокій; ряд 3 – ефективність відстоювання стічної рідини у відстійнику типової конструкції; ряд 4 – ефективність відстоювання стічної рідини у відстійнику з низхідно-висхідним потоком рідини попередньої конструкції [2]

Отже, з графіків бачимо, що ефективність роботи відстійника з низхідно-висхідним потоком рідини нової конструкції у порівнянні з відстійником попередньої конструкції є більшою. Характер кривої ефективності відстоювання, побудованої за розробленою формулою з використанням даних [2], подібний до кривої, побудованої Єршовим А.В.

Таким чином, запропонована математична модель розрахунку дозволяє з достатньою для практики точністю описати кінетику відстоювання завислих речовин з урахуванням гравітаційної коагуляції.

Необхідно експериментально визначити коефіцієнти K_n і K_6 , які враховують всі величини, що описують процес відстоювання стічної рідини у прямокутних вертикальних відстійниках без центральної труби, з низхідно-висхідним рухом води (дослідження зараз проводяться і їх результати будуть наведені у наступних публікаціях).

Подана вище методика розрахунку цих відстійників дозволяє не тільки оцінювати якість їх роботи для значень $C_0=\text{const}$, але і аналі-

тично встановлювати концентрації завислих речовин на виході із споруди при залпових скидах висококонцентрованих стоків.

1. Ершов А.В. Исследование первичных вертикальных канализационных отстойников с нисходяще-восходящим движением жидкости: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1979.

2. Ершов А.В., Бондаренко В.Д., Лобачёва Е.Л. Исследование вертикальных отстойников с нисходяще-восходящим потоком жидкости в производственных условиях // Наука и техника в городском хозяйстве. Вып. XIV. – К.: Будівельник, 1970.

3. Таварткіладзе І.М., Нечипор О.М.. Відстійник для малих витрат стічних вод // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2001.

4. Таварткіладзе І.М. та ін. Установка для очищення стічних вод / Патент України, № 29814 А.

5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М., 1986.

6. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1981.

7. Яковлев С.В.. Канализация. – М.: Стройиздат, 1976.

Отримано 10.12.2002

УДК 628.28

Н.Н.ГИРОЛЬ, д-р техн. наук

*Украинский государственный университет водного хозяйства и природопользования,
г.Ровно*

ОПЫТ РАБОТЫ ФИЛЬТРОВ С ПЛАВАЮЩЕЙ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНОЙ ЗАГРУЗКОЙ В СХЕМАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Приведен опыт работы фильтров с плавающей загрузкой в схемах очистки воды.

В технологических схемах очистки воды широкое распространение получили зернистые фильтры, способные эффективно задерживать дисперсные примеси. В качестве фильтрующего слоя таких фильтров обычно используют кварцевый песок, антрацит, аглопорит, перлит, гранулированные и порошкообразные угли, вулканические шлаки, диатомит, трепел, опока, монтмориллонит, вермикулит, доломит, магнезит, цеолит, шунгизит, керамзит, гранодорит, габродиабаз, гранит, бой керамики и др. Имеются сведения о применении в практике очистки воды от масел листового или дробленого пенополиуретана [1].

Наибольшее распространение в качестве фильтрующего материала водоочистных фильтров получили кварцевый и другие пески, встречающиеся в естественных условиях в виде моно- и полиминералов. Пористость однородных окатанных песков колеблется от 34 до 42%, карьерных – 40-47%, коэффициент формы зерна - соответственно от 1,2 до 1,5. В существующих в Украине месторождениях песков крупность зерен меньше необходимой величины. Фракции песка, при-